

## **CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DA DINÂMICA SEDIMENTAR NA EMBOCADURA DO PORTO DA FIGUEIRA DA FOZ, PORTUGAL**

Paulo. A. SILVA<sup>1</sup>; Carlos COELHO<sup>2</sup>; Tiago ABREU<sup>3</sup>; Paulo R. BAPTISTA<sup>4</sup>; Cristina BERNARDES<sup>4</sup>; Ángela FONTAN BOUZAS<sup>1</sup>; João M. DIAS<sup>1</sup>; Luís M. PINHEIRO<sup>4</sup>; Caroline FERREIRA<sup>1</sup>; Carla GARRIDO<sup>5</sup>; Carla PEREIRA<sup>2</sup>; André PINTO<sup>4</sup>; Jorge RUA<sup>5</sup>; Lucas TERRES LIMA<sup>4</sup>; Nuno VAZ<sup>1</sup>

### **RESUMO**

O porto da Figueira da Foz está localizado no litoral centro de Portugal, no estuário do rio Mondego. Esta costa está exposta a um regime de agitação marítima que conduz a um intenso transporte litoral de sedimentos. O acesso marítimo às instalações portuárias é efetuado através de uma embocadura delimitada por dois quebra-mares (norte e sul) e pelo canal de navegação.

Devido ao intenso transporte sedimentar que ocorre em situações de agitação marítima mais energética (tempestades) é criada uma barra submersa na embocadura, que condiciona o acesso dos navios às instalações portuárias, sendo recorrente a necessidade de realização de dragagens de emergência para permitir a navegação.

O objetivo deste trabalho é contribuir para a compreensão dos mecanismos que promovem o transporte de sedimentos entre o Cabo Mondego e a Leirosa, a sul, e caracterizar a dinâmica sedimentar na embocadura, no sentido de compreender os fenómenos que conduzem à tendência de assoreamento naquela zona. O trabalho apresenta resultados de monitorização da evolução da batimetria na embocadura do porto e de parâmetros hidrodinâmicos e da concentração de sedimentos em suspensão na zona intertidal da praia, sendo analisados diferentes transeptos ao longo dos setores a norte e a sul da embocadura. Na aplicação do modelo de simulação DELFT3D-WAVE, para a propagação da agitação marítima, foi considerado um regime equivalente de agitação marítima.

---

<sup>1</sup> CESAM & Departamento de Física, Universidade de Aveiro, Portugal. psilva@ua.pt; abouzas@ua.pt; carolineferreira@ua.pt; joao.dias@ua.pt; nuno.vaz@ua.pt.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Portugal. ccoelho@ua.pt; alexandrapereira@ua.pt.

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Civil, ISEP, Instituto Politécnico do Porto, Portugal. taa@isep.ipp.pt.

<sup>4</sup> CESAM & Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Portugal. renato.baganha@ua.pt; cbernardes@ua.pt; lmp@ua.pt; andrespinto@ua.pt; lucasterres@ua.pt.

<sup>5</sup> APA -Administração do Porto de Aveiro, S.A., Portugal. carla.garrido@portodeaveiro.pt; jorge.rua@portodeaveiro.pt.

Os resultados obtidos permitem compreender melhor a dinâmica de sedimentos na embocadura e tecer hipóteses sobre a resposta morfológica à variabilidade sazonal do regime de agitação marítima.

**Palavras-chave:** transporte litoral; monitorização; modelação.

## 1. INTRODUÇÃO

O porto da Figueira da Foz, situado na foz do rio Mondego, delimita dois trechos costeiros de características morfodinâmicas distintas. O trecho a norte da barra está associado a uma praia semi-encastrada, entre Buarcos e a Figueira da Foz, e o trecho a sul é um sector caracterizado pela existência de uma praia contínua até S. Pedro Muel. O acesso marítimo às instalações portuárias efetua-se através de uma embocadura que é delimitada por dois quebra-mares (norte e sul) e pelo canal de navegação (Figura 1). Como descrito em Dias *et al.* (1994) e Cunha e Dinis (1998), a embocadura do estuário sempre apresentou um carácter instável e pouco profundo com formação de restingas devido à deriva litoral intensa. A realização de obras de engenharia para regularizar e fixar a embocadura e permitir o movimento portuário reporta ao início dos anos 60 do século passado, com a construção dos molhes a norte e a sul da embocadura e, recentemente, com o seu prolongamento em 2010. A construção dos molhes teve um forte impacto na morfologia da zona costeira a norte e a sul da embocadura, verificando-se uma acumulação muito significativa de sedimentos na praia da Figueira da Foz, resultantes do transporte longilitoral e uma acentuada erosão a sul da embocadura (Dias *et al.*, 1994). Para a retenção dos sedimentos no troço costeiro entre a Cova da Gala e a Leirosa foram construídos esporões e obras de defesa aderente, encontrando-se a costa artificializada (Figura 1).

O presente trabalho tem como objetivo contribuir para um melhor entendimento da dinâmica sedimentar da região em estudo, nomeadamente, para o regime de transporte longilitoral entre o Cabo Mondego e a praia da Leirosa e para o assoreamento da embocadura do porto da Figueira da Foz. Para tal, são analisados os dados de levantamentos batimétricos realizados na embocadura, os resultados de medições do transporte sedimentar na zona intertidal nas praias adjacentes à embocadura e apresentados os resultados da simulação numérica do regime de agitação.

## 2. ZONA DE ESTUDO: HIDRODINÂMICA E DERIVA LITORAL

### 2.1 Hidrodinâmica litoral na área de estudo

A maré na embocadura do estuário do Mondego é do tipo semidiurno e mesotidal (Barcelar-Nicolau *et al.*, 2003). O regime de agitação marítimo neste troço costeiro apresenta as características do regime de ondulação da costa ocidental portuguesa: as distribuições da altura significativa e do período da onda mostram que as classes com maior frequência de ocorrência são de 0.5-2.5m (75%) e de 5-9 s (77%), respetivamente, e têm predominância do quadrante de noroeste. No que respeita a condições extremas de agitação, os estudos de Costa *et al.*, (2001) e Pinto *et al.* (2014) indicam que o número médio de temporais por ano é de 10.5, em 75% dos casos têm uma duração inferior a 2 dias e o padrão dominante é o de NW (58% dos temporais observados) e o de W (13%), sendo os restantes 29%

distribuídos com reduzido significado pelas outras direções. Nas imediações da embocadura do porto da Figueira da Foz, a agitação marítima incidente sofre transformações acentuadas resultantes da refração da ondulação no cabo Mondego, nomeadamente, uma rotação da direção de propagação para o quadrante Oeste, associada a uma menor dispersão direcional, e uma diminuição da altura da onda (Freire *et al.*, 2004).

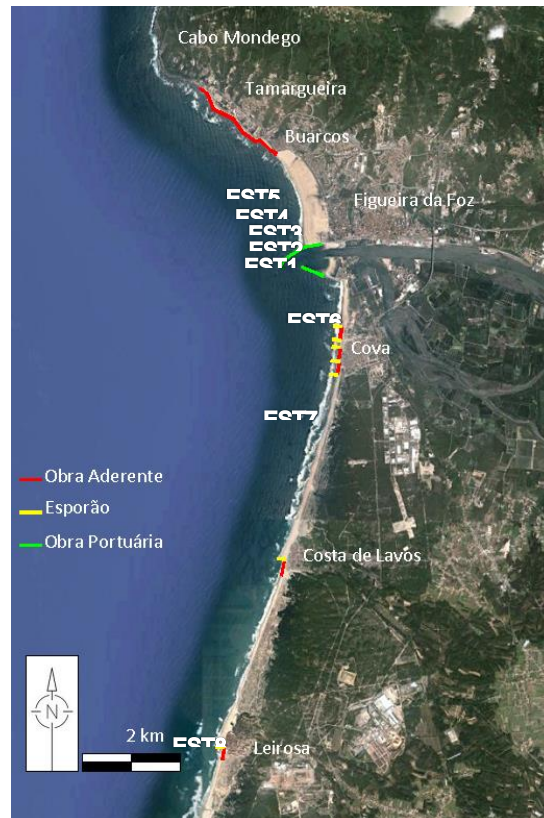


Figura 1 – Embocadura do porto da Figueira da Foz e área de estudo: intervenções de defesa costeira; localização das estações de recolha de dados (EST1-8).

## 2.2 Transporte sedimentar e deriva litoral

O transporte longitudinal de sedimentos ao longo das praias do setor litoral localizado entre o cabo Mondego e a Leirosa faz-se preferencialmente de norte para sul, sendo a maior evidência deste transporte a acumulação de sedimentos observada na praia da Figueira da Foz após a construção dos molhes que aprisionaram os sedimentos da deriva litoral. Esta acumulação de sedimentos tem sido alvo de análise e contribuído através de diversos estudos para a caracterização do volume de sedimentos em transporte neste trecho litoral. A Tabela 1 apresenta valores estimados de transporte sedimentar no trecho em estudo, obtidos por diferentes autores. Abecassis *et al.* (1962), Ferreira (1993), Cunha e Dinis (1998), Coelho (2005) e Silva *et al.* (2012), são exemplos de autores que abordam a estimativa de caudais sólidos no litoral noroeste português. A geomorfologia deste setor apresenta diferenças significativas a norte e a sul da embocadura do estuário do Mondego que determinam a dinâmica sedimentar. A existência do cabo Mondego no limite superior da área de estudo torna a análise do transporte sedimentar muito particular. Os estudos efetuados indicam existir transporte longitudinal que transpõe o cabo Mondego de norte para

sul, alimentando o trecho costeiro entre Buarcos e a Figueira da Foz (Ferreira, 1993). Porém, para os regimes de agitação com rumo mais rodado a Oeste (inferiores a N283°), os resultados indicam que essa transposição pode ser interrompida (Abecassis *et al.*, 1962; Cunha e Dias, 1998). Observa-se ainda que a deriva litoral na praia da Figueira da Foz, que alimenta o transporte sólido para sul através do molhe norte, apresenta uma variabilidade sazonal e interanual em função do regime de agitação ao largo.

Tabela 1 – Estimativas de volumes de transporte sedimentar na costa da Figueira da Foz.

Autor	Volume Norte-Sul (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /ano)	Observações
Abecassis <i>et al.</i> (1962)	0.3 [1963-1968]	Valor estimado através da acumulação de areias na praia da Figueira da Foz, entre a linha de maré-baixa e a batimétrica de -10m.
Carvalho (1971)	0.9	Estimativa obtida pela acumulação a norte do quebra-mar norte do porto da Figueira da Foz, tendo sido considerada uma estimativa ligeiramente inferior ao valor real que passa no cabo Mondego (citado em Dias <i>et al.</i> , 1994).
Vicente e Clímaco (1986)	1	-
Cunha e Dinis (1998)	0.42	Estimativa de valor definido com base em valores de volumes de extração de areias na praia da Figueira da Foz.
Oliveira <i>et al.</i> (2002)	0.89	Valor obtido por processos de modelação numérica, para a praia da Figueira da Foz.
Laranjeiro <i>et al.</i> (2003)	0.79 – 1.54	Valor obtido por processos de modelação numérica, para a praia de Buarcos, para situação de preia-mar e baixa-mar, respetivamente.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Levantamentos batimétricos

Após as obras de prolongamento do molhe em 2010, a APFF - Administração do Porto da Figueira da Foz, S.A. (APFF, S.A.) realiza levantamentos batimétricos sistemáticos na embocadura do porto associados às operações de dragagens que ali são efetuadas. Estes levantamentos permitem quantificar o balanço sedimentar nessa zona.

Com base no conjunto de dados batimétricos, foram construídos modelos digitais de elevação do terreno (MDT) e a partir das superfícies obtidas realizaram-se os cálculos dos balanços entre os levantamentos considerando áreas comuns, quantificando as diferenças altimétricas e os volumes associados. Este trabalho apresenta uma sequência de

levantamentos que são exemplificativos da dinâmica sedimentar associada a essa zona e a sua interligação com o regime de ondulação. A Figura 2 representa a batimetria correspondente ao levantamento de 20/6/2012. A Figura 3 representa as diferenças de cotas de fundo para quatro períodos distintos, sendo o primeiro no regime de verão marítimo (entre 20/6/2012 e 11/10/2012) e os restantes três durante o inverno marítimo de 2012/2013. Na Tabela 2 são apresentados os valores calculados dos volumes de erosão, acreção e o saldo líquido. A Figura 4 representa os valores da altura significativa da onda ( $H_s$ ), período de pico ( $T_p$ ) e direção medidos na boia ondógrafo de Leixões para a totalidade dos quatro períodos. Durante o primeiro período, que corresponde ao verão marítimo, os valores da altura da onda são típicos desta estação do ano; de notar a ocorrência de um evento extremo na segunda quinzena de Setembro, com valores de  $H_s$  próximos de 5m mas com valores do período de pico inferiores a 15s. Os resultados na Figura 3A mostram que as variações na batimetria são residuais sendo que o balanço volumétrico dos sedimentos é próximo de  $-8\ 400\ m^3$ , como indicado na Tabela 2. Durante o período compreendido entre 11 e 19 de Dezembro 2012 ocorreu um evento de temporal (3.6 dias de duração) com altura significativa máxima de 5.6 m. Nesse período ocorreu a formação da barra submersa na embocadura (Figura 3B). Durante o período seguinte (entre 19 Dezembro e 8 de Janeiro) foi efetuada uma operação de dragagem com remoção de  $100\ 000\ m^3$  de volume de sedimento, como se indica na Tabela 2 e na Figura 3C. Finalmente, a Figura 3D indica as diferenças observadas entre 8 de Janeiro e 28 de Fevereiro de 2013: observa-se neste caso a deposição de uma quantidade significativa de sedimento na embocadura como provável consequência de dois eventos de temporal que ocorreram durante este período, do que resultou a colmatação da escavação resultante da dragagem realizada.

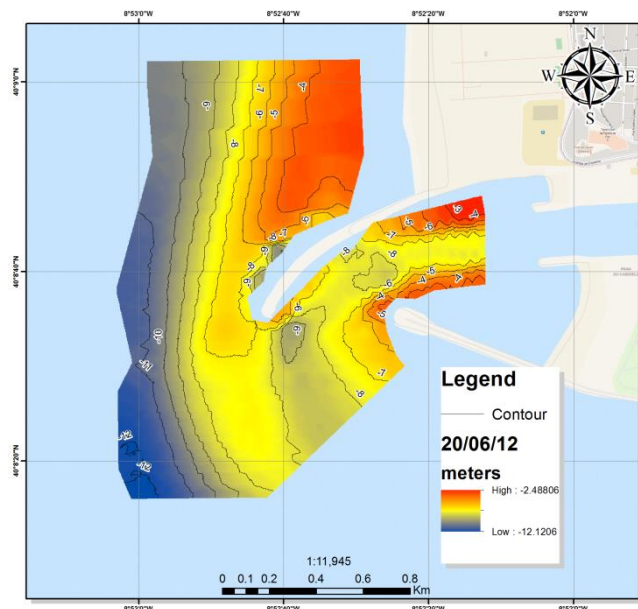


Figura 2 – Levantamento batimétrico de 20 Junho 2012.

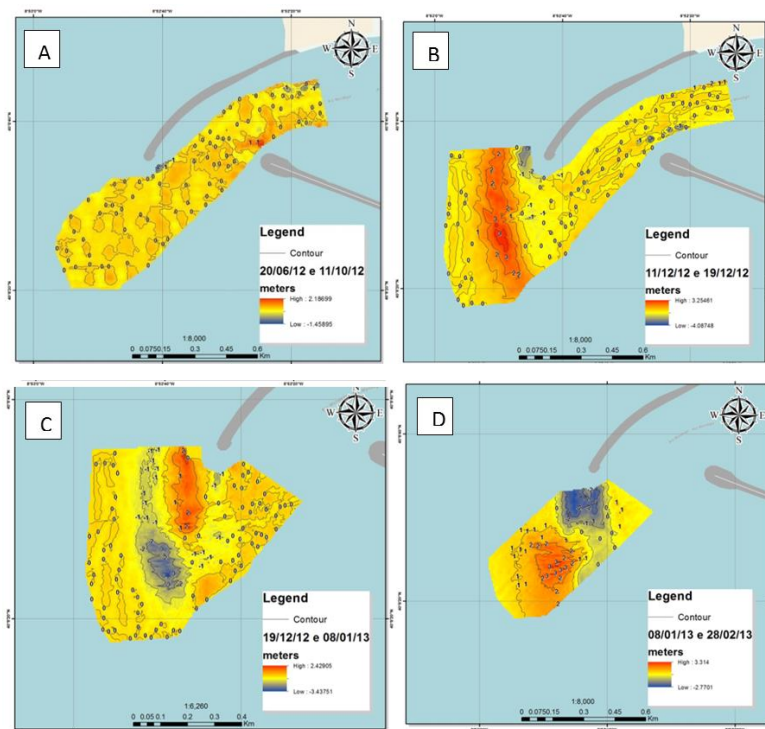


Figura 3 – Mapas das diferenças nos levantamentos batimétricos para os períodos: A) 20 de Junho a 11 Outubro 2012; B) de 11 a 19 Dezembro 2012; C) de 19 Dezembro a 8 Janeiro 2013; D) de 8 a 28 Janeiro 2013.

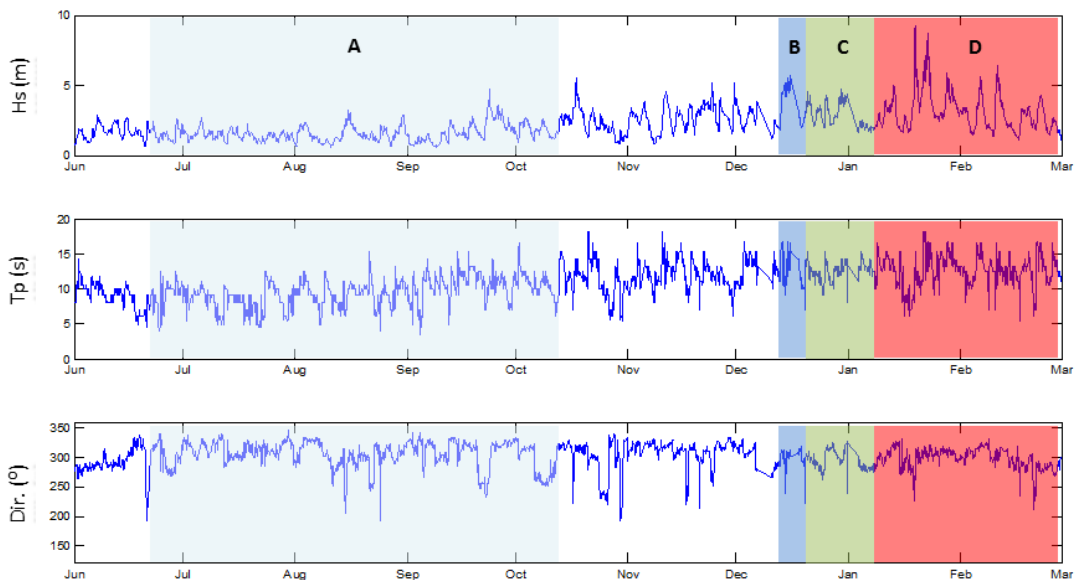


Figura 4 – Regime de ondulação medido na boia de Leixões. Os retângulos A-D delimitam os quatro períodos em análise.



Tabela 2 - Volumes de acreção e erosão (m<sup>3</sup>)

20/06/12-11/10/12	acreção	13 073
	erosão	-21 453
	Saldo líquido	-8 379
11/12/12-19/12/12	acreção	189 089
	erosão	-53 673
	Saldo líquido	135 416
19/12/12-08/01/13	acreção	33 846
	erosão	-94 665
	Saldo líquido	-60 818
08/01/13-28/02/13	acreção	157 554
	erosão	-49 957
	Saldo líquido	108 388

### 3.2 Monitorização do transporte sedimentar na zona intertidal

Foram efetuadas duas campanhas de campo para monitorização de parâmetros hidrodinâmicos e morfológicos. A primeira campanha decorreu entre 5 e 9 de Novembro de 2014 em 8 estações localizadas na praia da Figueira da Foz (estações EST1-5), na praia do Cabedelo (estação EST6), na praia do parque de campismo da Orbitur, localizada entre a Gala e a Costa de Lavos (estação EST7) e na praia da Leirosa (estação EST8). A localização das estações está indicada na Figura 1. Na segunda campanha realizada entre 21 e 24 de Maio de 2015 foram monitorizados os mesmos parâmetros nas EST4 e EST7. Neste trabalho são apresentados apenas os resultados obtidos na primeira campanha de campo relativos aos fluxos de sedimentos.

Nas estações EST1, EST4, EST6, EST7 e EST8 foram efetuadas medições da velocidade do escoamento com um correntómetro eletromagnético (ECM), da elevação da superfície livre da água com sensores de pressão (PT) e da concentração de sedimentos em suspensão com sondas óticas (OBS) durante um ciclo de maré. A frequência de aquisição de dados do PT, do ECM e do OBS foi de 2Hz, 10Hz e 6.667 Hz, respetivamente. Nas estações EST2, EST3 e EST5, localizadas na praia da Figueira da Foz, foram realizadas apenas observações da elevação da superfície livre da água com sensores de pressão. O correntómetro foi instalado a uma distância da areia de 0.25 m e as três sondas OBS aos níveis 0.10, 0.25 e 0.40m. Os valores da elevação da superfície livre da água medidos pelos sensores de pressão foram separados em duas componentes através da aplicação de um filtro: uma componente representativa das ondas de curto período ( $f > 0.03\text{Hz}$ ;  $T < 33.3\text{ s}$ ), i.e., alta frequência,  $\zeta_{\text{HF}}$ , e outra de baixa frequência ( $f < 0.03\text{Hz}$ ;  $T > 33.3\text{ s}$ ),  $\zeta_{\text{LF}}$ . Para intervalos de tempo com a duração de 10 minutos, estimou-se a altura de onda significativa,  $H_s$ , e a profundidade média,  $h$ , de acordo com as seguintes expressões:

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad (1)$$

$$h = \sum_i \zeta_{\text{LF}i} / N \quad (2)$$

onde  $m_0$  representa a variância de  $\zeta_{\text{HF}}$  em cada intervalo de tempo e  $N$  o número de dados correspondente em cada intervalo.

Os dados do correntómetro eletromagnético (ECM) consistem em duas componentes da velocidade horizontal, as quais foram convertidas do eixo de referência local do instrumento nas componentes longitudinal ( $V_x$ ) e transversal ( $V_y$ ). As séries temporais de cada componente da velocidade foram também filtradas separando a componente de baixa e alta frequência considerando uma frequência de corte  $f_c = 0.03$  Hz. A partir do sinal de  $V_x$  e  $V_y$  na banda de baixa frequência foram calculados os valores médios da componente longitudinal e transversal da velocidade em intervalos de 10 minutos que permitem estimar a intensidade e a direção da corrente de deriva litoral e da corrente transversal (a corrente de retorno, *undertow*), respetivamente. As componentes de  $V_x$  e  $V_y$  no domínio da alta frequência, que têm informação da velocidade orbital das ondas de curto período, foram processados através de uma análise de valores próprios (Ruessink *et al.*, 2012) para determinação do valor médio do ângulo de incidência da onda em cada intervalo de 10 minutos.

Os dados dos sensores OBS foram convertidos em concentração de sedimentos em suspensão mediante a aplicação de retas de calibração previamente definidas em laboratório. O caudal sólido em suspensão foi determinado pelas seguintes expressões:

$$q_{sx} = \int_{d_0}^h V_x(z,t) C(z,t) dz; \quad q_{sy} = \int_{d_0}^h V_y(z,t) C(z,t) dz \quad (3)$$

Os limites de integração  $h$  e  $d_0$  foram definidos em termos dos níveis a que se encontravam os sensores OBS e considerou-se que a velocidade medida pelo correntómetro é constante na coluna de água.

A Figura 5 apresenta os valores medidos de  $H_s$ ,  $T_p$  e da direção da ondulação registada na bóia ondógrafo de Leixões nos dias da campanha. Os valores de  $H_s$  variaram entre 2m e 5m (registos do dia 8 Novembro) e a direção da ondulação nos 5 períodos de medição variou entre os quadrantes de WNW e NNW.

Os valores máximos da altura significativa da onda medidos pelos PT (não mostrados) foram registados em preia-mar e em qualquer caso são inferiores a 1.5m. Face às condições de agitação incidente, a largura da zona de rebentação era significativa pelo que, durante o tempo de amostragem, os sensores encontraram-se na zona de rebentação da onda e na zona de espraio no início/fim do ciclo de maré. A Figura 6 representa os valores médios da componente da velocidade nas direções longitudinal e transversal e os valores médios do fluxo de sedimentos em intervalos de 10 min para as EST6 e EST8. Para as outras estações EST1, EST4 e EST8 o correntómetro encontrou-se sempre na zona de espraio da onda e os resultados não são apresentados. Verifica-se que a corrente de deriva litoral varia entre 0 e +0.6m/s (EST6) e -0.2 e 0.8 m/s (EST8) (o sinal positivo indica sentido da corrente para sul). O valor médio da intensidade da corrente aumenta da EST6 para EST8. O valor médio do fluxo longitudinal de sedimentos segue a tendência observada na corrente com valores superiores na região da Leirosa face aos observados na praia do Cabedelo.



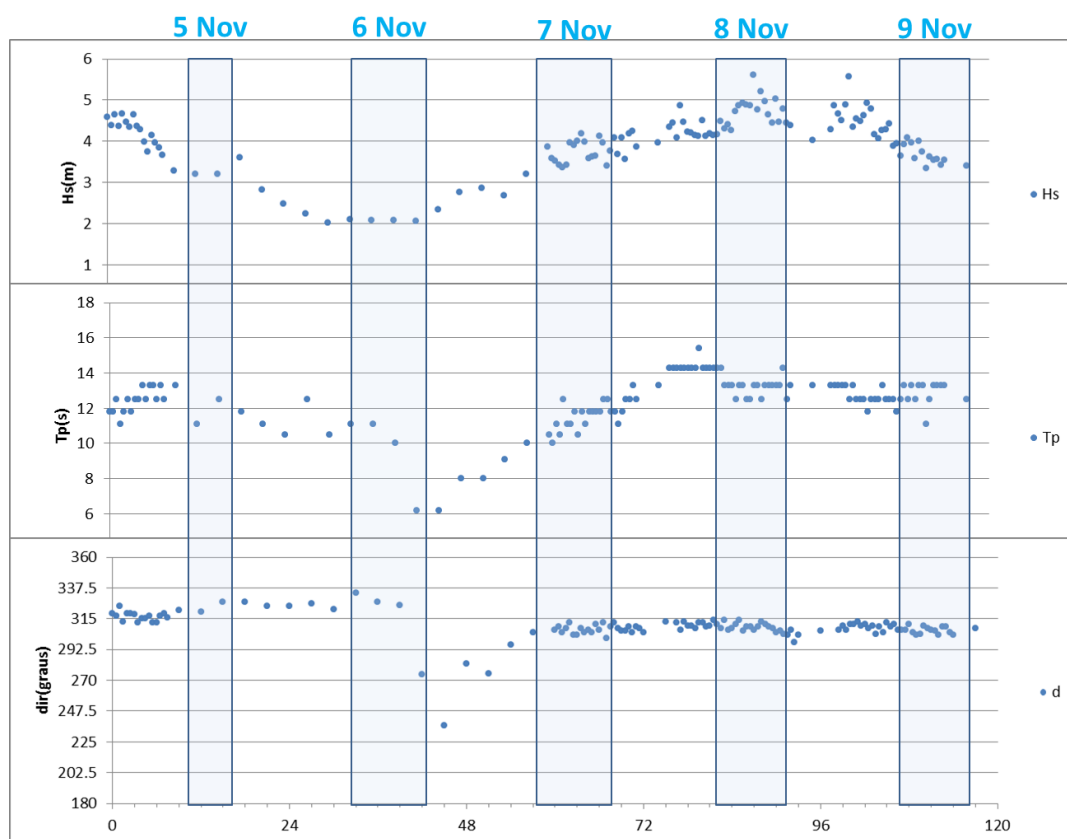


Figura 5 – Altura significativa da onda (Hs), do período de pico (Tp) e da direção da agitação marítima observada na boia ondógrafo de Leixões nos dias da campanha. As caixas representam os períodos de medição (t=0 corresponde às 0h00 do dia 5 de Novembro).

As figuras ilustram também a existência de correntes transversais para o largo, correspondentes ao *undertow*, que se intensificam durante a preia-mar.

Integrando os valores de  $q_x$  e de  $q_y$  no tempo de duração das medições e assumindo que o perfil activo da praia tem uma extensão de 100 m obtém-se o valor do caudal sólido na direcção longitudinal. Extrapolando os valores obtidos para um ano obtém-se as seguintes taxas de transporte longitudinal para a EST6 e EST8,  $0.462 \times 10^6$  e  $1.576 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano, respetivamente.

### 3.3 Simulação do regime de ondulação equivalente

A simulação numérica da propagação da agitação marítima na embocadura do estuário do Mondego e das regiões costeiras adjacentes foi efectuada com o módulo DELFT3D WAVE (Deltares 2010). Este modelo, que tem por base no modelo SWAN (Booij *et al.*, 1999), determina as características da agitação marítima em zonas costeiras, partindo das características da agitação ao largo, tendo em conta os processos de geração pelo vento, as interações não lineares onda-onda e a dissipação. O modelo SWAN baseia-se na representação espectral completa da equação de conservação da acção de onda, sendo todos os processos físicos modelados explicitamente. Na presente aplicação, consideraram-se dois domínios computacionais aninhados, tendo o maior uma malha com um

espaçamento constante de 500 m e o domínio menor uma malha variável, conforme ilustrado na Figura 7.

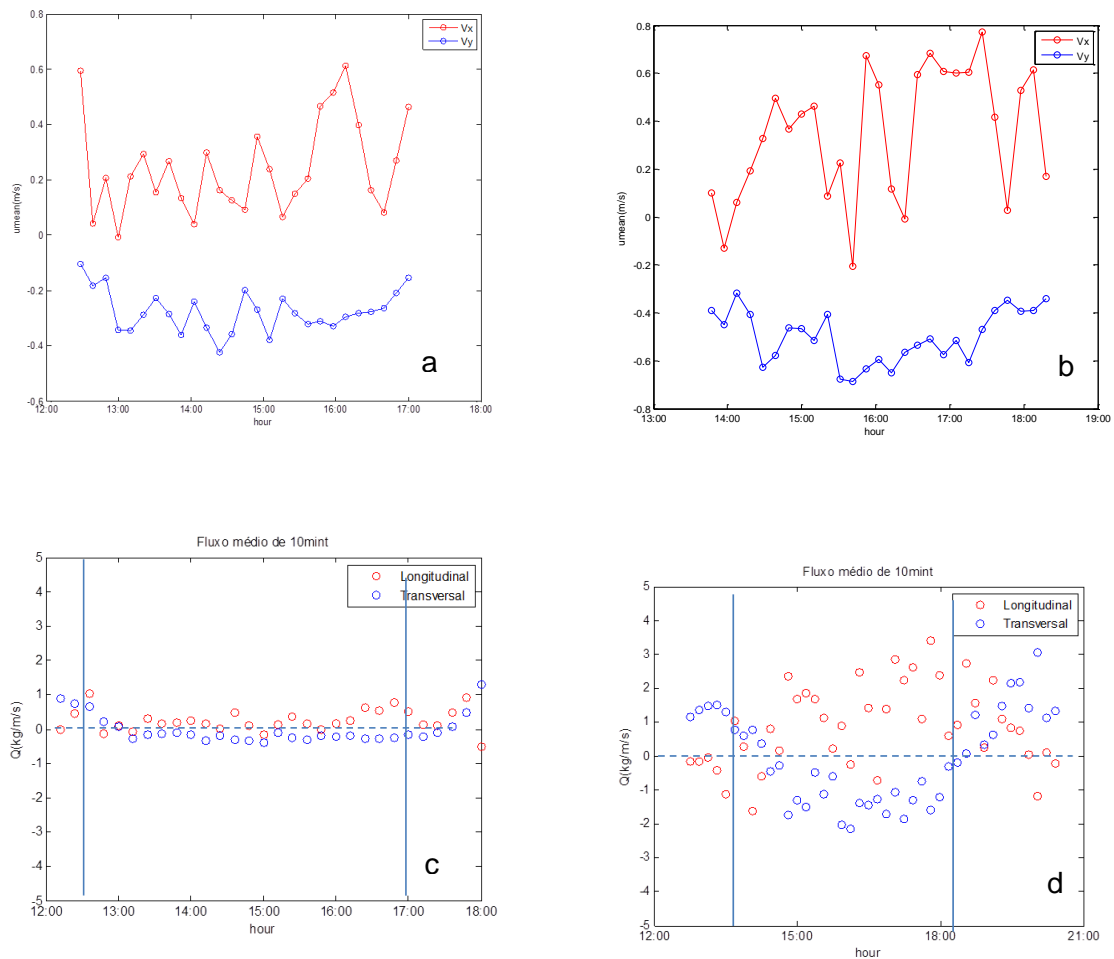


Figura 6. Valores médios (10 min) da componente longitudinal e transversal da velocidade na EST6 (a) e na EST8 (b); valores médios (10 min) do fluxo sedimentar na EST6 (c) e na EST8 (d). As linhas verticais em (c) e (d) delimitam as zonas de esprai da zona de rebentação (entre as 12h30-17h00 no dia 7/11/2014 e as 13h30-18h00 do dia 9/11/2014).

A batimetria numérica foi criada com base em dados topo hidrográficos fornecidos pela APFF, S.A., resultantes de levantamentos efectuados entre 2011 e 2013 na zona junto ao canal de acesso à embocadura e na zona exterior da embocadura do estuário. Para a zona costeira mais distante da embocadura foram utilizados dados topo hidrográficos com menor resolução espacial, disponíveis na internet e provenientes de bases de dados ETOPO (<http://ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>). Nas fronteiras abertas do primeiro domínio consideraram-se as condições de ondulação correspondentes a um regime de agitação equivalente anual estabelecido por Barata *et al.* (1996). Este regime é constituído por 6 condições de onda (Tabela 3) e foi estabelecido no pressuposto que produz um transporte longitudinal anual que é equivalente ao obtido com o regime de agitação medido ao largo da Figueira da Foz. A Figura 8 representa os valores da altura significativa da onda e da

corrente longitudinal calculados pelo modelo para a onda 3 e 6. Note-se que a diferença entre a condição 3 e 6 reside no ângulo de incidência da onda. A condição de onda 3 é a condição com parâmetros mais próximos dos observados na primeira campanha nos dias 7 e 9 de Novembro de 2014.

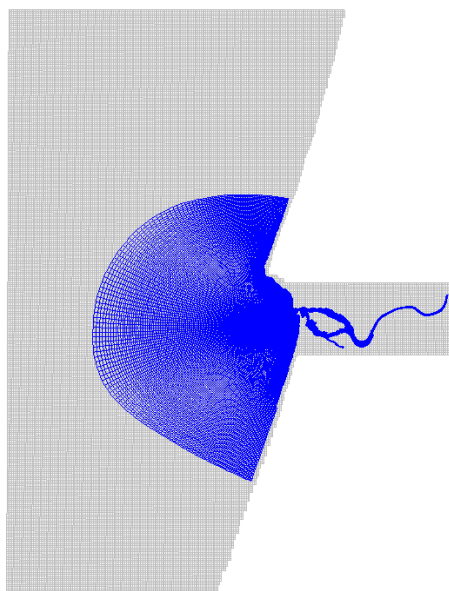


Figura 7. Malha computacional: o domínio maior (a cinzento) e menor (a azul).

Tabela 3 - Clima de agitação equivalente

#	1	2	3	4	5	6
Hs(m)	1.75	2.25	3.75	4.75	6.25	3.75
T(s)	12	12	12	15	15	12
Direcção (°)	315	303.75	326.25	315	315	281.25
%	50	30.02	9.8	1.64	1	7.54

Os resultados obtidos mostram que para a condição 3 a altura da onda a sul do cabo Mondego diminui mais do que 30% devido ao efeito de refração. Para a onda 6 (não mostrado) não se observa este resultado. A velocidade média da corrente litoral induzida pelas ondas na rebentação é para sul e é contínua através do cabo Mondego, enquanto, para a onda 6, com ângulo de incidência de Oeste, a corrente para sul a norte do cabo não é estabelecida. Para as ondas 3 e 6 verifica-se na praia da Figueira da Foz uma corrente litoral intensa, que será a responsável pelo transporte de sedimentos através do cabeço do molhe norte. A sul da embocadura verifica-se um aumento da intensidade da corrente longitudinal de norte para sul (onda 3).

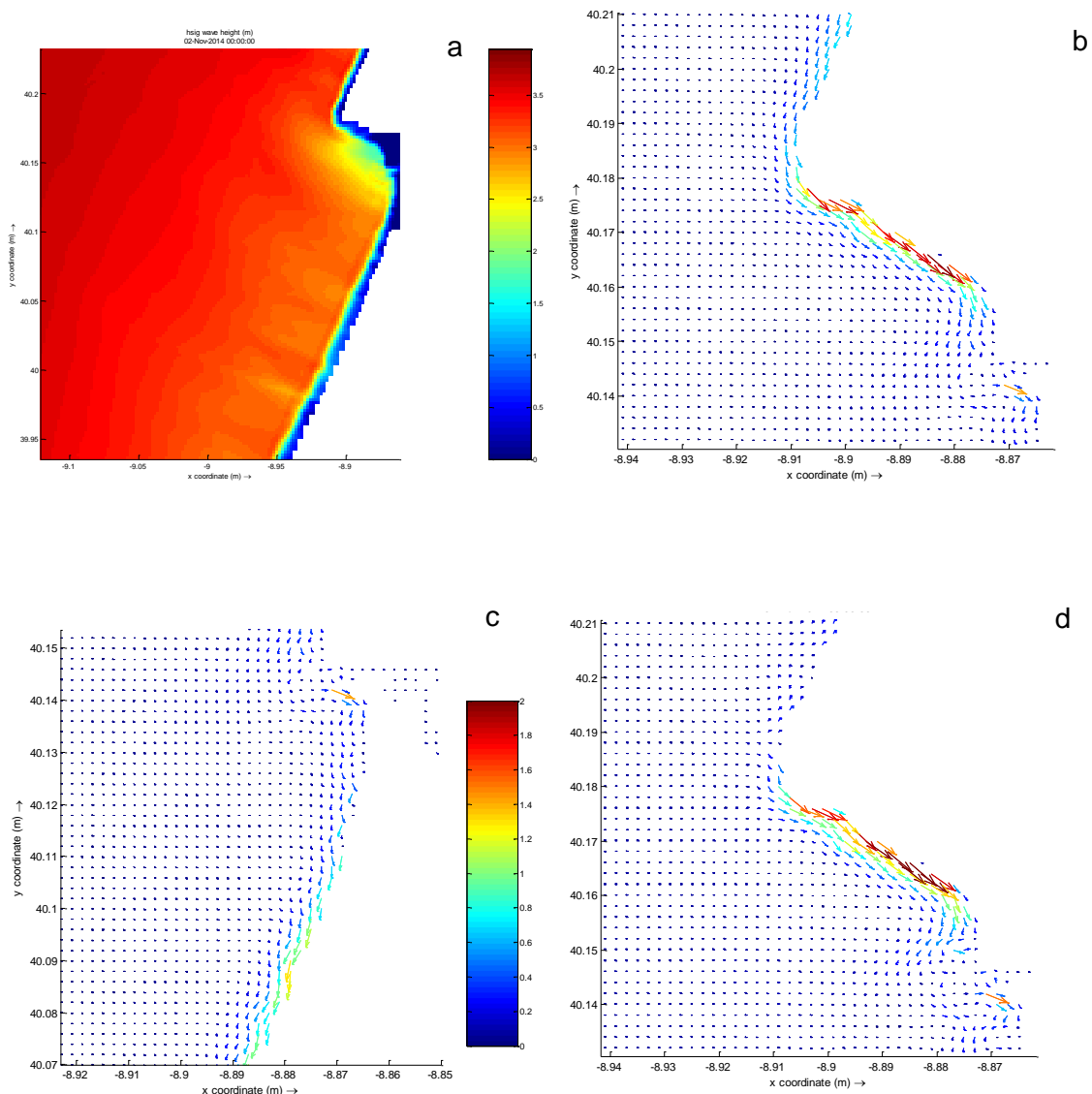


Figura 8. Distribuição da altura significativa da onda e da corrente litoral correspondente à onda 3 (a, b, e c) e onda 6 (d).

#### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos no presente estudo permite colocar algumas hipóteses sobre a dinâmica sedimentar do trecho costeiro que envolve a embocadura do porto da Figueira da Foz.

As variações acentuadas da batimetria na embocadura e o assoreamento da barra parecem ocorrer para condições de ondulação de elevada energia proveniente dos quadrantes NW ou W e caracterizados por períodos de pico superiores a 15s. As condições médias de

ondulação observadas durante o ano não induzem um transporte conducente a variações significativas da embocadura da barra.

As escavações que resultam das operações de dragagem efetuadas na embocadura são posteriormente preenchidas com sedimentos provenientes da deriva litoral. A corrente de maré na embocadura pode contribuir para o enchimento das escavações. A escala de tempo de permanência das escavações é dependente da frequência dos eventos extremos de ondulação.

A intensidade e o sentido da corrente de deriva litoral no cabo Mondego dependem das condições de agitação incidente. Os resultados obtidos e ilustrados nas Figuras 8b e 8d sugerem que em condições de regime médio de agitação marítima e em situações de temporal proveniente do quadrante NW e de NWN a ondulação contribua para um transporte contínuo de sedimentos entre o cabo Mondego e o molhe norte. Para os regimes de ondulação proveniente dos quadrantes mais a oeste, o transporte longitudinal líquido para sul no cabo Mondego pode não ser tão efectivo. A persistência de condições e ondulação com rumo de Oeste poderá contribuir para o deficit sedimentar na praia de Buarcos.

As soluções numéricas sugerem que a corrente de deriva litoral na praia da Figueira da Foz, para as condições de onda 3 e 6, procede-se na mesma direcção e sentido (sul) independentemente da direcção de agitação incidente ao largo (NW ou W). Este resultado está de acordo com a análise efectuada com base nos levantamentos batimétricos.

A sul da embocadura as medições realizadas nas EST6 e EST8 para condições semelhantes de agitação ao largo indicam uma intensificação da corrente de deriva e do transporte longilitoral para sul, o que se deverá à variação da inclinação da linha de costa imediatamente a sul dos molhes e a Leirosa. Os resultados do modelo para a condição de onda 3 (análoga às condições observadas ao largo nesses dias) descrevem essa tendência. Os valores estimados para o transporte litoral encontram-se dentro dos valores aceites na bibliografia.

Os trabalhos futuros incidirão na aplicação do modelo à simulação do transporte sedimentar e das alterações morfodinâmicas nos regimes de ondulação considerados.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradece-se a colaboração de todas as pessoas que participaram nas campanhas de campo. O presente trabalho foi elaborado no âmbito do projecto “Estudo da Dinâmica Sedimentar na Embocadura da Barra do porto da Figueira da Foz”, financiado pela APFF, S.A..

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Abecasis F., Matias M. F., Carvalho J. J., Vera-Cruz D. (1962). Methods of determining sand and silt movement along the coast, in estuaries and in maritime rivers. Lab. Nac. Eng. Civil. Technical paper nº 186, Lisboa, 25 p.

- Bacelar-Nicolau P., Nicolau L.B., Marques J.C., Morgado F., Pastorinho R., Azeiteiro U.M. (2003). Bacterioplankton dynamics in the Mondego estuary (Portugal). *Acta Oceanologica*, 24, S67-S75.
- Barata M.G.O.A., Teles M.J.B.S., Vieira J.A.R. (1996). Selecção de Ondas Representativas da Agitação Marítima para efeito da avaliação do transporte litoral na costa de Aveiro. *Recursos Hídricos* 17(1), 43-74.
- Booij N., Ris R.C., Holthuijsen L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geophysical Research* 104(C4), 7649-7666.
- Coelho, C. (2005). *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*; Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 404 p.
- Costa M., Silva R., Vitorino J. (2001). Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa, 2ª *Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Associação Nacional de Navegação (Sines, Portugal).
- Cunha P. P., Dinis J. (1998). Beach erosion between cabo Mondego and Figueira da Foz (Portugal Midwest), from 1995 to 1998. *Territorium* 5, 31-50.
- Deltares (2011). *Delft3D-Flow User Manual Version 3.15*. Delft, The Netherlands, 672 pp.
- Dias J. A., Ferreira O., Pereira A. Ramos (1994). *Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré*. Edição electrónica de 2005: w3.ualg.pt/~jdiarias/JAD/ebooks.
- Ferreira Ó. (1993). *Caracterização dos principais fatores condicionantes do balanço sedimentar e da evolução da linha de costa entre Aveiro e o Cabo Mondego*. Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa, 166 p.
- Freire P., Oliveira F.S.B.F., Capitão R., Fortes C., Costa M. (2004). Cross-shore Evolution of Buarcos Beach, Portugal. J.M. Smith (ed.), *Proc. 29th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Vol. 3, pp. 2314-2326.
- Laranjeiro, S.H.C.D. E Oliveira, F.S.B.F. (2003). Assessment of the longshore sediment transport at Buarcos beach (West Coast of Portugal) through different formulations. *Proceedings of CoastGis'03* (Genoa, Italy).
- Oliveira, F. S. B. F., Freire, P. M. S. & Laranjeiro, S. H. C. D. (2002). Characterisation of the dynamics of Figueira da foz beach, Portugal. *Journal of Coastal Research*, 563 (36), 552-563
- Pinto J., Mota P., Costa M. (2014). Evolução da climatologia de agitação marítima em Portugal Continental, *Actas das 3as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, ISBN 978-989-705-073-2, Lisboa, Portugal, pp. 195-198.
- Ruessink B.G., Ramaekers G., van Rijn L.C. (2012). On the parameterization of the free-stream non-linear wave orbital motion in nearshore morphodynamic models. *Coast. Eng.* 65, 56-63.
- Silva A.N., Taborda R., Bertin X., Dodet G. (2012). Seasonal to Decadal Variability of Longshore Sand Transport at the Northwest Coast of Portugal. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 138(6), 464-472.



Vicente, C., Clímaco, M. (1986). Analysis of the evolution of Figueira da Foz beach. Relatório 106/86 – NET, LNEC, Lisboa, 51p.